DELIMITACION Y CODIFICACION DE UNIDADES HIDROGRAFICAS DE BOLIVIA METODOLOGÍA PFAFSTETTER

LIZET PATRICIA SULLCATA CRUZ

1. LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Definición

Se define Cuenca Hidrográfica, como la unidad de gestión y como base para procesos de planificación del desarrollo en torno a los recursos hídricos y componentes sistémicos asociados (especialmente los suelos, bosques, acuíferos y sistemas productivos que se desarrollen en la cuenca).

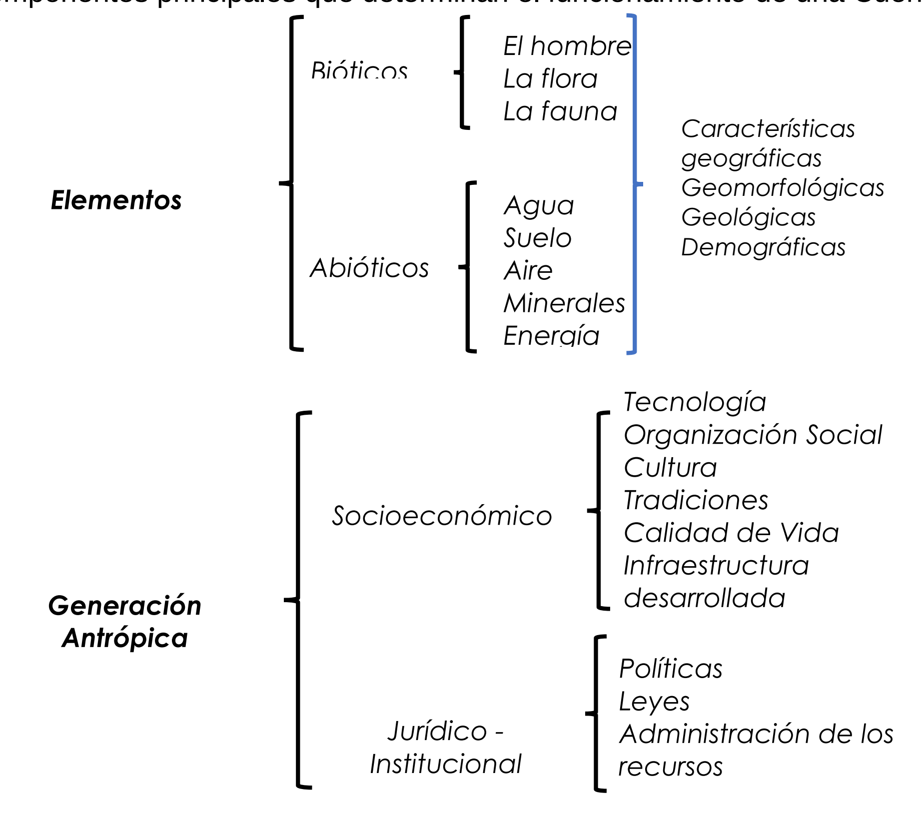
La Cuenca como Sistema

La Cuenca como sistema es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico.

Una Cuenca Hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas.

Los componentes de la Cuenca

Los componentes principales que determinan el funcionamiento de una Cuenca son:



División de la Cuenca

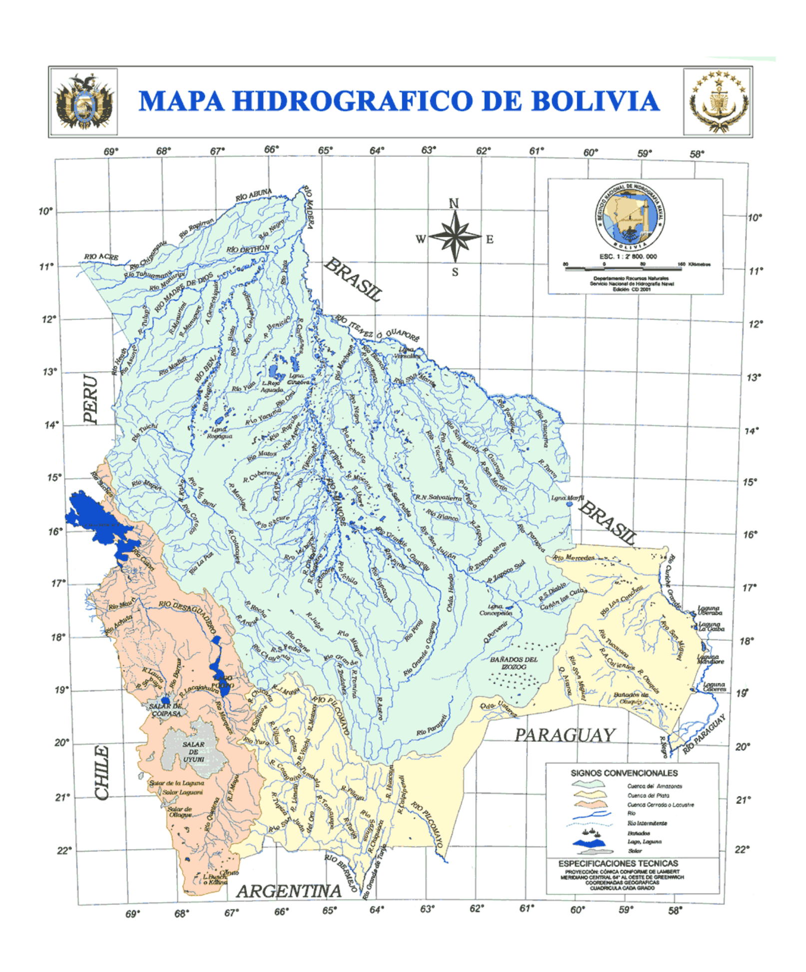
La división de la cuenca llamada también divisoria de aguas o divortium aquarum es una línea que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca en ríos o afluentes distintos. Otro término utilizado para esta línea se denomina parteaguas.

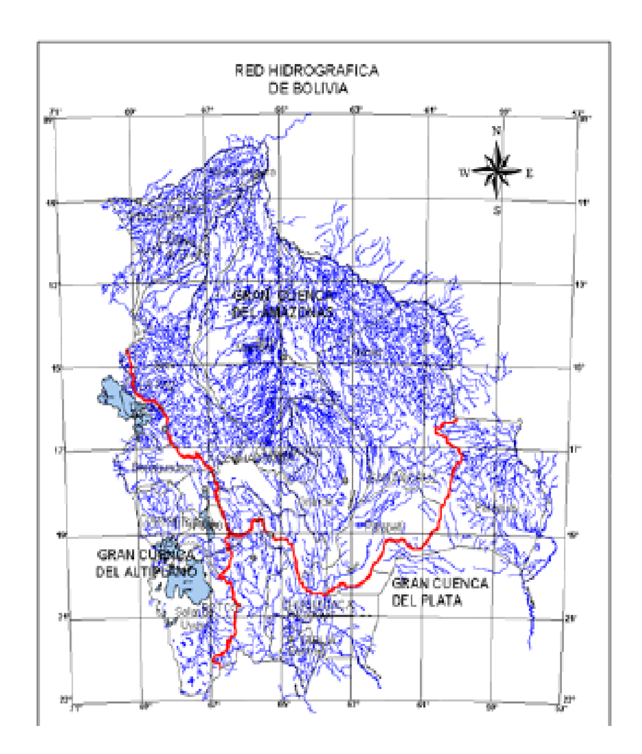
Delimitación de la Cuenca

Tradicionalmente la delimitación de cuencas, se ha realizado mediante la interpretación de los mapas cartográficos. Este proceso, ha ido evolucionando con la tecnología. Hoy, los sistemas de información geográfica SIG proporcionan una gama amplia de aplicaciones y procesos que, con entender los conceptos y teoría, se puede realizar de una forma más sencilla y rápida el análisis y delimitación de una cuenca.

2. ANTECEDENTES SOBRE DELIMITACION DE CUENCAS EN NUESTRO PAIS

El Instituto Geógrafo Militar en 1990, delimitó las tres grandes cuencas del País, Amazónica, Altiplánica y Del Plata.

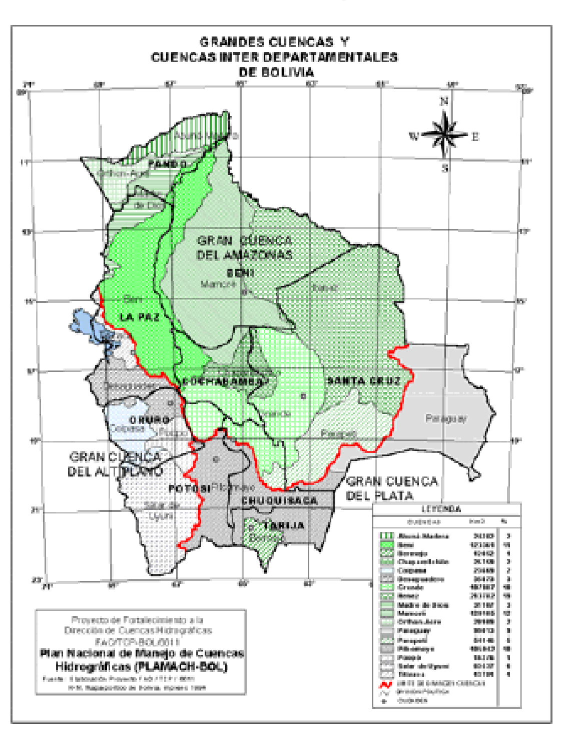




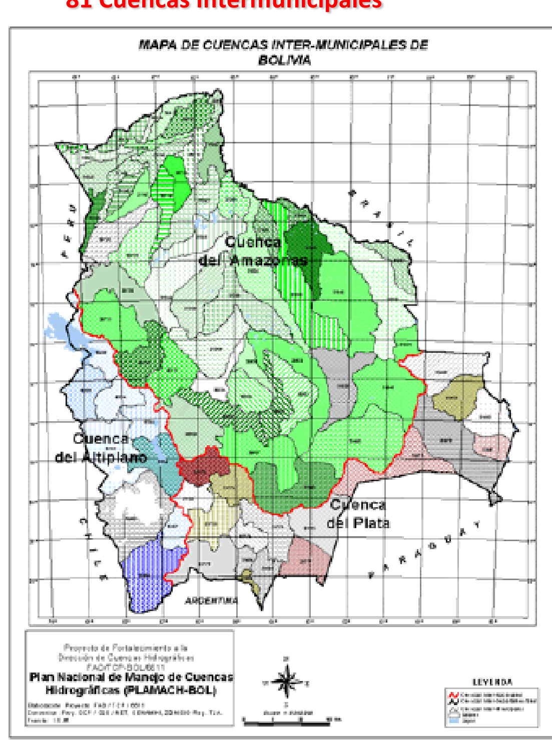
El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología en convenio con entidades Internacionales (UNESCO y ORSTOM, 1990), delimitaron tres grandes cuencas, Amazonas, Altiplánica y Del Plata.

El Proyecto TCP/6611(PLAN MACHBOL), ha elaborado una delimitación de las cuencas considerando los antecedentes antes señalados, se utilizó la siguiente información, a escalas 1:1’000.000: mapa físico de Bolivia, edición 1993, mapa político de Bolivia, edición 1994, y mapas referenciales del SENAMHI y de la Dirección de Cuencas Hidrográficas.

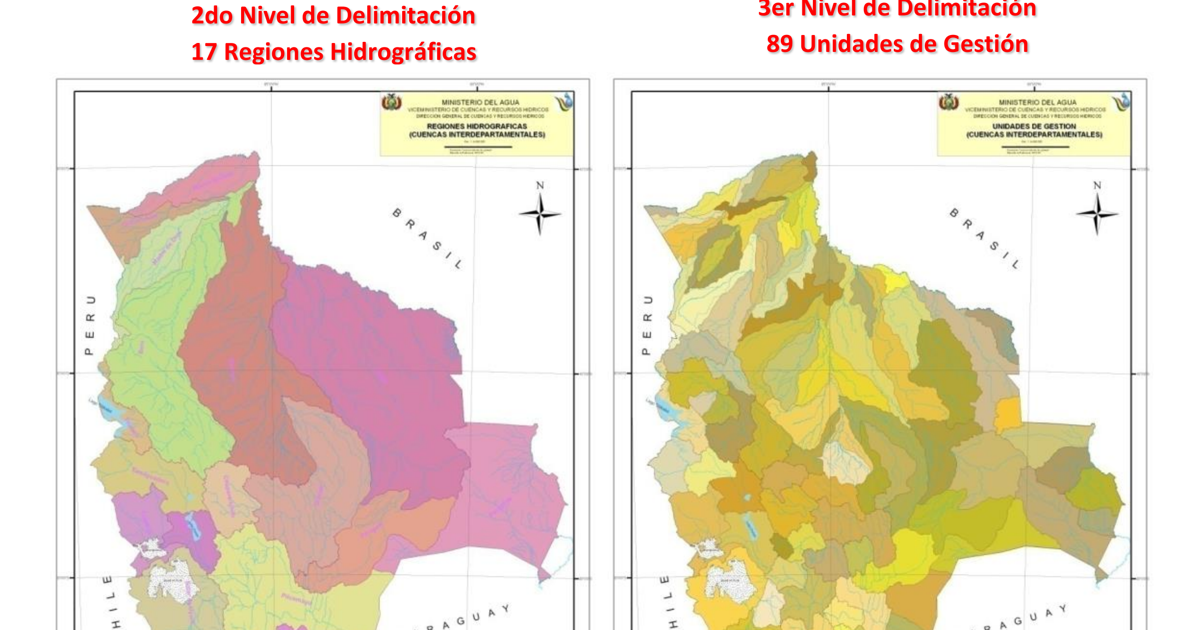
17 Cuencas Interdepartamentales



81 Cuencas Intermunicipales



El Sistema Nacional de Información para el Desarrollo (SNIDS), el año 2000 desarrolló un primer mapa de delimitación de cuencas, a nivel de regiones y unidades hidrográficas por macrocuencas en el país a partir del cual se determinaron los siguientes niveles:



3. SISTEMA DE CODIFICACIÓN PFAFSTETTER

Para la delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Bolivia se ha utilizado la metodología denominada Pfafstetter. Se ha desarrollado asimismo, una serie de procedimientos técnicos específicos, a partir del uso de software especializado.

Método Pfafstetter

- ✓ La metodología de delimitación y codificación de cuencas fue creada en Brasil en 1989 por el Ing. Otto Pfafstetter.
- ✓ Esta metodología fue adoptada en 1997 por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), quienes realizaron la Delimitación y Codificación Mundial de Cuencas Hidrográficas, con el apoyo del Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas - PNUMA.
- ✓ El 15 Octubre 2003, el CNRH-Brasil aprobó el Plano Nacional de Recursos Hídricos elaborado con el Sistema Pfafstetter; Base organizacional territorial que considera a las cuencas hidrográficas como Unidades de Gestión.
- ✓ En la actualidad el Método se va constituyendo en el estándar internacional de Delimitación y Codificación.

- ✓ El 25 de Noviembre del 2008 se suscribe el convenio entre la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos para la elaboración del mapa de cuencas de Bolivia nivel 5 (metodología Pfafstetter) en el marco de la Carta Acuerdo SGCAN-UICN.

Características principales

- La metodología consiste en asignar códigos a las unidades de drenaje en función de la topología de la superficie del terreno.
- Provee un único código a cada Cuenca, el cual está en función de la ubicación dentro del sistema hidrográfico que la comprende.
- Es hidrológicamente ordenado.
- Permite la economía de dígitos cuyas cantidades dependen del nivel en que se encuentra.
- El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de ríos (confluencias).
- El nivel 1 corresponde a la escala continental de unidades de drenaje. Los niveles siguientes (2, 3, 4, etc.) representan unidades de drenaje más pequeñas, comprendidas en una unidad mayor.

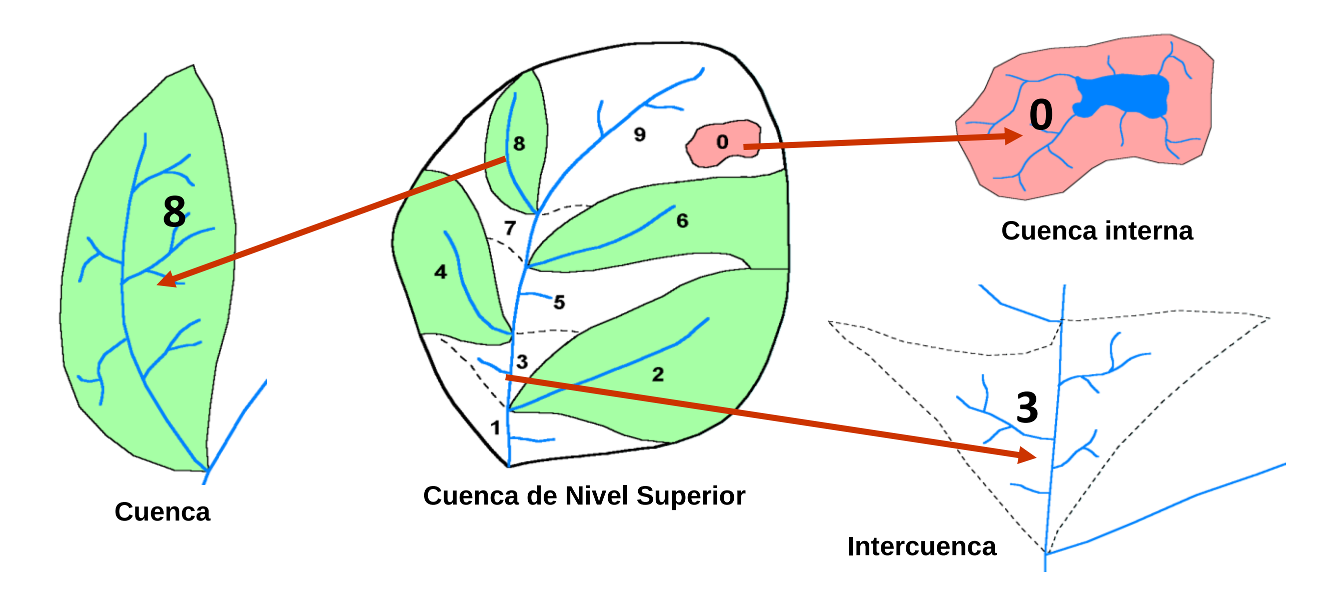
Tipos de unidades hidrográficas

Considera tres tipos de unidades hidrográficas o de drenaje:

- **Cuenca:** Es un área que no recibe drenaje de ninguna otra área pero si entrega sus aguas a otras unidades de drenaje ubicadas aguas abajo.

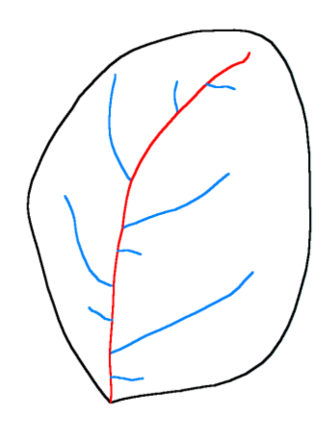
- **Intercuenca:** Es un área que recibe drenaje de otras unidades aguas arriba y entrega las aguas a otras unidades ubicadas aguas abajo.

- **Cuenca Interna**: Es un área de drenaje que no recibe drenaje ni entrega flujos de agua a otra unidad de drenaje.

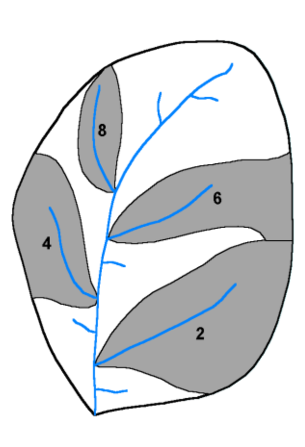


Proceso de codificación

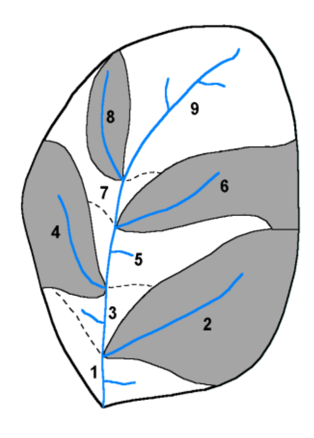
Consiste en subdividir una cuenca hidrográfica, cualquiera que sea su tamaño, determinándose los cuatro mayores afluentes del río principal, en términos de área de sus cuencas hidrográficas. Las cuencas correspondientes a esos tributarios son enumerados con los dígitos pares (2, 4, 6 y 8), desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Los otros tributarios del río principal son agrupados en las áreas restantes, denominadas intercuencas, que reciben, en el mismo sentido, los dígitos impares (1, 3, 5 y 7). El código 9 se reserva para el mayor área de drenaje de la parte superior (origen del río o cabecera de cuenca)



Red de drenaje original, previa determinación del río principal



Se delimitan las cuatro mayores cuencas tributarias



Se delimitan las intercuencas

4. MODELO DIGITAL DE ELEVACION

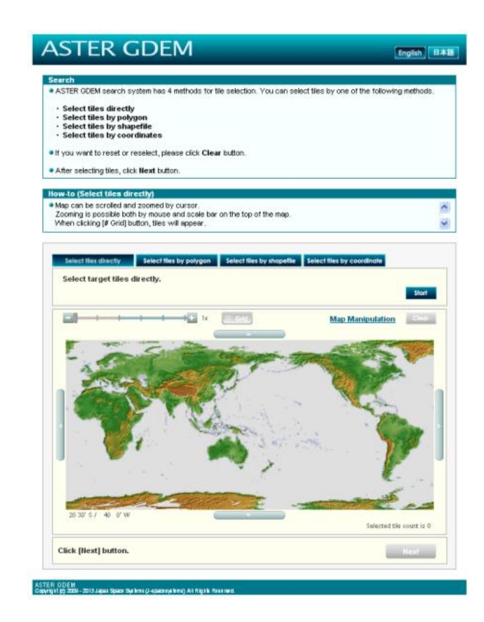
Modelo Digital del Terreno

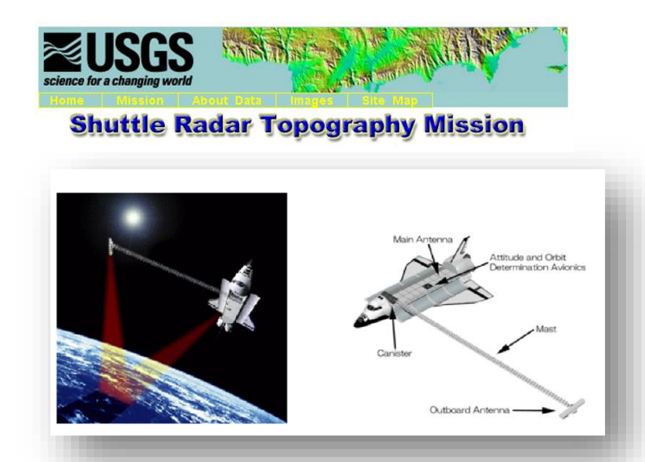
Un Modelo Digital de Terreno (MDT) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continúa.

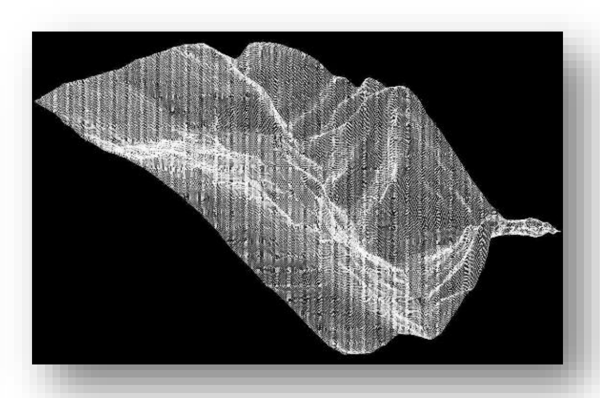
El tipo de MDT más conocido es el **Modelo Digital de Elevaciones (MDE)**, un caso particular de aquel, en el que la variable representada es la cota del terreno en relación a un sistema de referencia concreto. No obstante no hay un uso normalizado en la literatura científica de los términos Modelo Digital de Elevaciones (MDE), Modelo Digital del Terreno (MDT) y Modelo Digital de Superficie (MDS).

En la mayoría de los casos, el término **Modelo Digital de Superficie** se refiere a la superficie de la tierra e incluye todos los objetos que esta contiene. En cambio un **Modelo Digital de Terreno** representa la superficie de suelo desnudo y sin ningún objeto, como la vegetación o los edificios.









Estructuras de datos en el MDE

La estructura de datos en los sistemas de información geográfica y, por extensión, en los modelos digitales de terreno, se han dividido en dos grupos en función de la concepción básica de la representación de los datos: vectorial y raster:

- **El modelo de datos vectorial** está basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices.

- **El modelo de datos raster** está basado en localizaciones espaciales, a cada una de las cuales se les asigna el valor de la variable para la unidad elemental de superficie.

En el modelo vectorial los atributos del terreno se representan mediante puntos, líneas o polígonos con sus respectivos atributos. Los puntos se definen mediante un par de valores de coordenadas con un atributo de altitud, las líneas mediante un vector de puntos de altitud única o no y los polígonos mediante una agrupación de líneas.

En el modelo raster, los datos se interpretan como el valor medio de unidades elementales de superficie no nula que teselan el terreno con una distribución regular, sin solapamiento y con recubrimiento total del área representada, estas unidades se llaman **celdas o teselas** y, si se admite la analogía con lo términos usados en proceso de imágenes, **pixeles**.

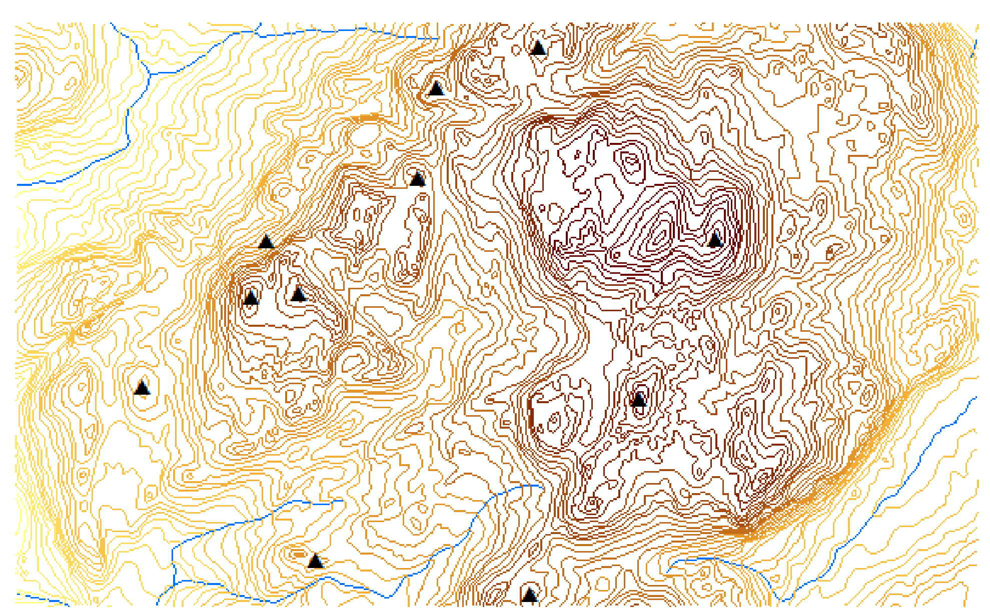
Cada modelo de datos puede expresarse mediante diferentes estructuras de datos; dentro de los dos modelos básicos, la práctica y el tiempo han reducido las potenciales variantes de estructuración a unas pocas. Las más representativas son dos estructuras vectoriales: la basada en isohipsas o contornos y la red irregular de triángulos TIN, y dos estructuras raster: las matrices regulares y las matrices jerárquicas.

Creación de un Modelo Digital de Elevación

Un Modelo Digital del Elevación (MDE) es una forma de representación de la superficie del terreno en formato Raster.

Aunque los modelos ráster se adecúan mejor a variables con distribuciones suaves, en el caso de la superficie topográfica, donde pueden aparecer fuertes discontinuidades o bien elementos antrópicos de diseño lineal, estos métodos pueden no resultar los más satisfactorios. Su modelación parece dar mejor resultado si se utiliza la red de triángulos irregulares (TIN).

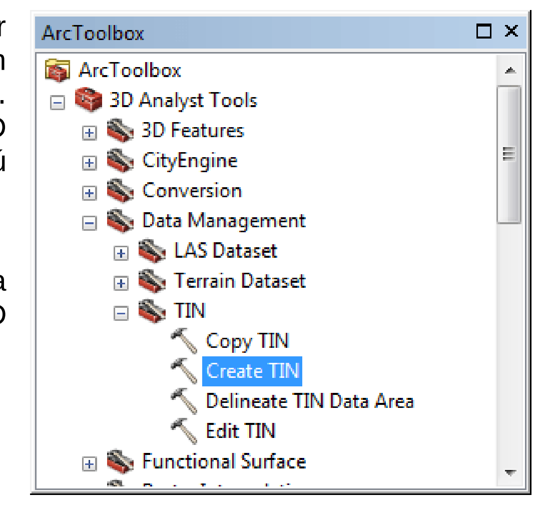
La causa es que la Triangulación posibilita la utilización de una gran cantidad de información altimétrica y no altimétrica, cuestión que permite una considerable mejora del modelo, y que anteriormente no ha sido tenida en cuenta. Para comprobar su funcionamiento de una manera específica, será generado un TIN a partir del siguiente conjunto de datos:



- Curvas.shp
- Cotas.shp
- Ríos.shp

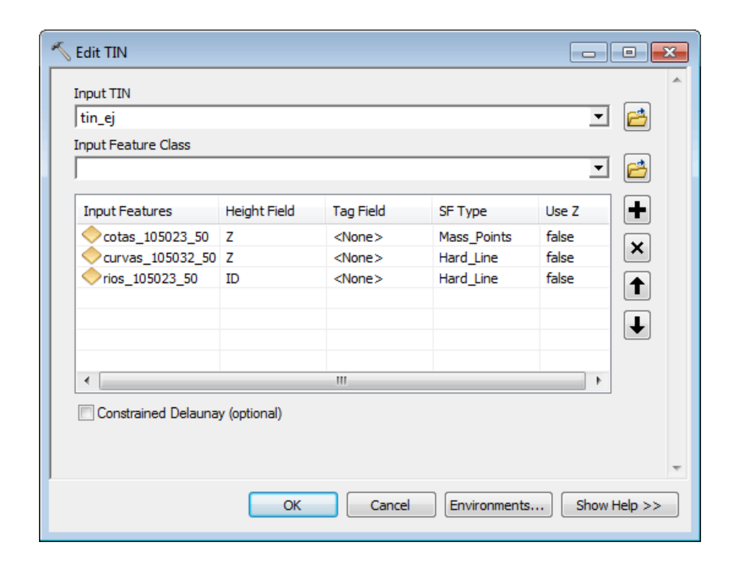
Hay que destacar que, a pesar de que la red fluvial no contiene altimetría de modo explícito, el método la utiliza para mejorar (o al menos, transformar) la triangulación. Por otra parte, y con objeto de poder realizar más potentes análisis sobre el MDE, lo más usual es transformar el TIN vectorial a formato ráster (grid).

En primer lugar, para generar un modelo por Triangulación, hay que extraer información sobre su área y su volumen, y pasarlo a raster. Comencemos activando la extensión 3D Analyst desde el menú Customize/Extensions….

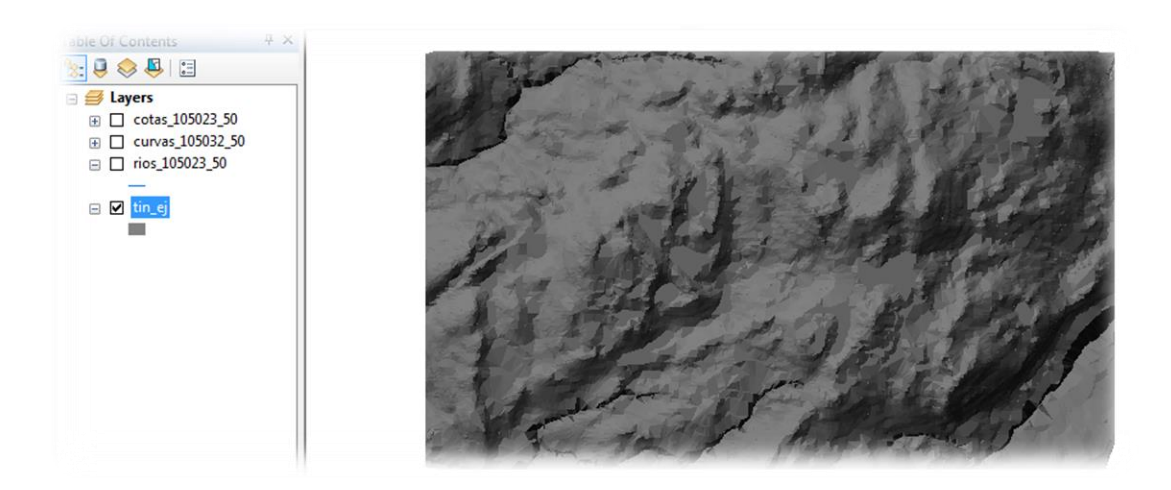


Ve a las ArcToolbox y Selecciona la herramienta Create TIN del directorio 3D Analyst/Data Management/TIN/Create TIN

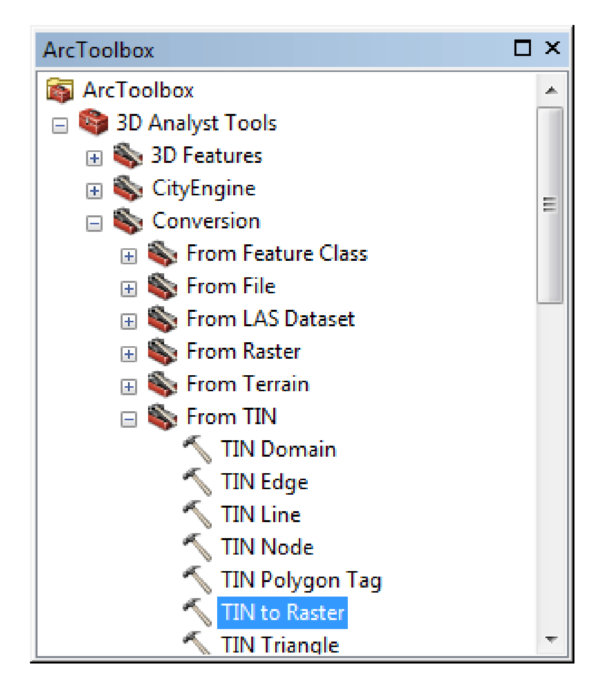
A continuación, selecciona la herramienta Edit TIN del directorio 3D Analyst/Data Management/TIN/Edit TIN de las ArcToolbox e introduce los datos de entrada, selecciona el TIN que acabamos de crear y las capas vectoriales:



Al modelo resultante, que posee el mismo nombre que el original ya que éste tan solo se ha actualizado, debe serle indicado que utilice la información altimétrica para su representación.

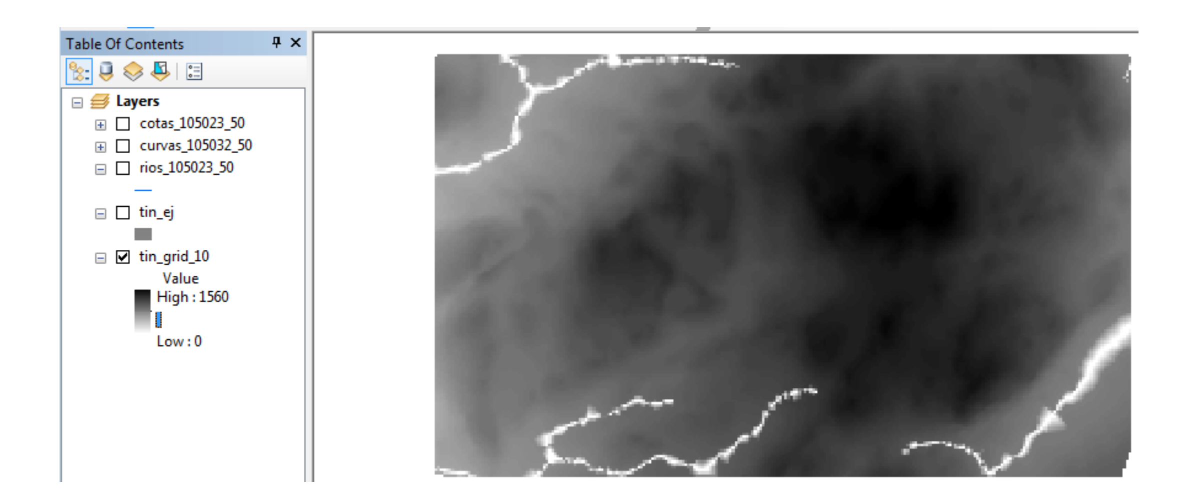


Para pasar de TIN a GRID basta con escoger la herramienta TIN To Raster del directorio 3D Analyst/Conversion/From TIN/TIN To Raster de las ArcToolbox.



Introduce los parámetros siguientes en la herramienta:

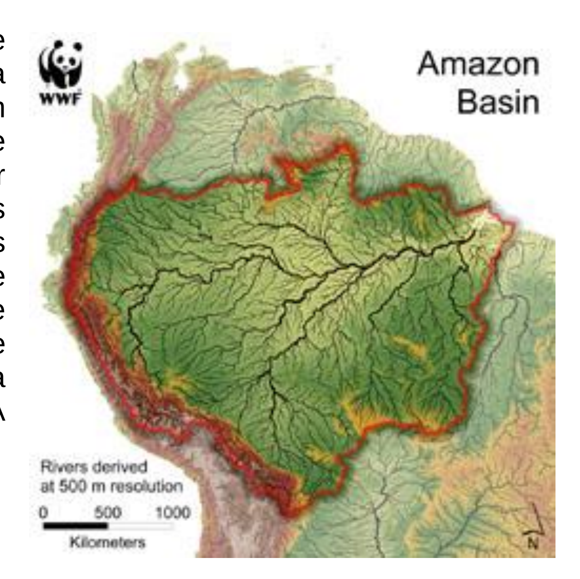
- Input TIN: TIN
- Output raster: TIN_GRID_10
- Output Data Type: FLOAT
- Method: Linear
- Sampling Distance: Digitaliza CELLSIZE 10 (vamos a generar uno en el que el tamaño de celdilla sea de 10 metros).



Ya hemos creado nuestro MDE a partir de curvas de nivel y otra información de partida.

El Modelo Hydrosheeds

HydroSHEDS es un producto de mapeo que proporciona información hidrográfica para aplicaciones de escala regional y global en un formato consistente. Ofrece un conjunto de conjuntos de datos georreferenciados (vector y ráster) a varias escalas, incluidas las redes fluviales, los límites de la cuenca, las direcciones de drenaje y las acumulaciones de flujo. HydroSHEDS se basa en los datos de elevación de alta resolución obtenidos durante un vuelo del transbordador espacial para la misión de topografía radar de la NASA (SRTM).



Obtención de la Dirección de Flujo

La dirección del flujo está determinada por la dirección más empinada de descendencia de cada celda o pixel. Esta se calcula como:

Cambio de valor de z / distancia * 100

La distancia se calcula entre los centros de las celdas. Por lo tanto, si el tamaño de la celda es de 1, la distancia ortogonal entre dos celdas es 1, y la distancia diagonal es 1,414.

El valor de salida de la dirección del flujo es un número entero (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128). Los valores para cada dirección del centro son los siguientes:

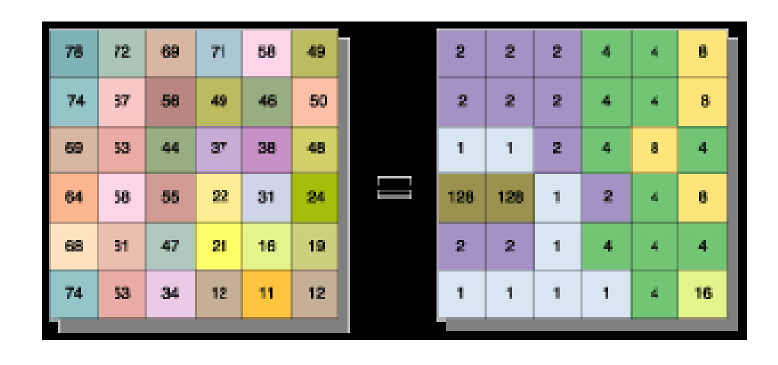
32	64	128
16		1
8	4	2

Por ejemplo, si la dirección de descenso más empinada está a la izquierda de la celda en proceso, su dirección del flujo sería codificada como 16.

Si la dirección de descenso a todas las celdas adyacentes tiene el mismo valor, la vecindad de ésta es ampliada hasta encontrar una empinada descendente mayor.

Si todas las celdas adyacentes son más altas que la celda en proceso, se considerará como ruido, y ésta será llenada con el valor más bajo de sus vecinos, y tendrá una dirección de flujo hacia esta celda. Sin embargo, si es una celda hundida cerca al borde físico de la matriz o que tenga al menos una celda adyacente sin datos (NODATA), entonces ésta no será llenada debido a la insuficiente información de la celda vecina. Para ser considerado como un verdadero sumidero de celdas, todas las celdas adyacentes deberán poseer información.

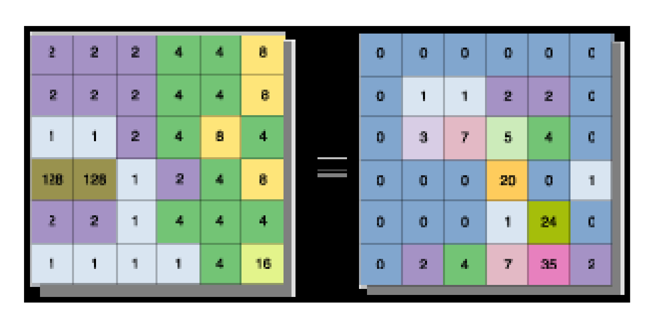
Este método, para la determinación de la dirección del flujo, se deriva de un modelo de elevación digital (DEM) que fue presentado por Jenson y Domingue (1988).



MATRIZ DE ELEVACIÓN (DEM)	MATRIZ DE DIRECCIÓN

Obtención de la Acumulación de Flujo

El resultado de la acumulación de flujo es una matriz que lo representa, matriz en la cual se calcula para cada celda un valor de acumulación de peso proveniente de todas las celdas que fluyen hacia ella.



MATRIZ DE DIRECCION

MATRIZ DE ACUMULACIÓN

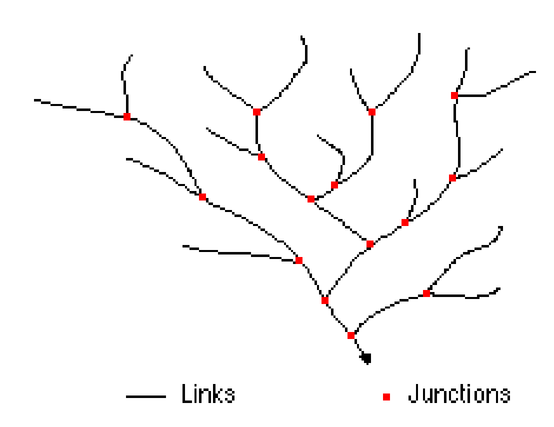
El flujo acumulado está en función del número de celdas que fluyen hacia cada una de las celdas de la matriz de salida. La celda que estás siendo procesada no se considera en tal acumulación.

Las celdas de salida con una alta acumulación de flujo identifican o representan la red de drenaje.

Las celdas de salida con una acumulación de flujo cero son puntos topográficos altos que permiten identificar las cordilleras.

Generación de drenaje

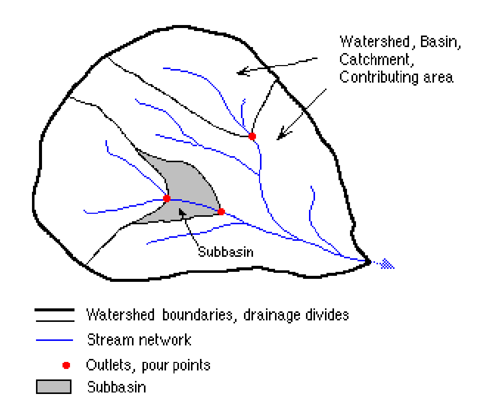
Asigna únicos valores a las secciones de una red de drenaje lineal matricial, comprendida entre intersecciones.
Los enlaces “Links” son las secciones de una red de drenaje que conectan dos confluencias (junctions) sucesivas, una confluencia y la desembocadura, o un inicio (naciente) y una confluencia.



La matriz de la red de drenaje puede ser creada mediante el cálculo del umbral adecuado, el cual consiste en determinar el valor de la acumulación de flujo.

Delimitación de cuencas

Determina el área de contribución por encima de un conjunto de celdas en una matriz.
Un watershed es el área en el cual el agua que drena dentro de ella, se concentra en un colector común o principal. Otros términos utilizados para watershed son cuenca de captación o zona de contribución. Esta zona se define normalmente como la superficie total que fluye a una determinada salida o "pour point". El límite entre dos cuencas se conoce como frontera de drenaje o línea divisoria.

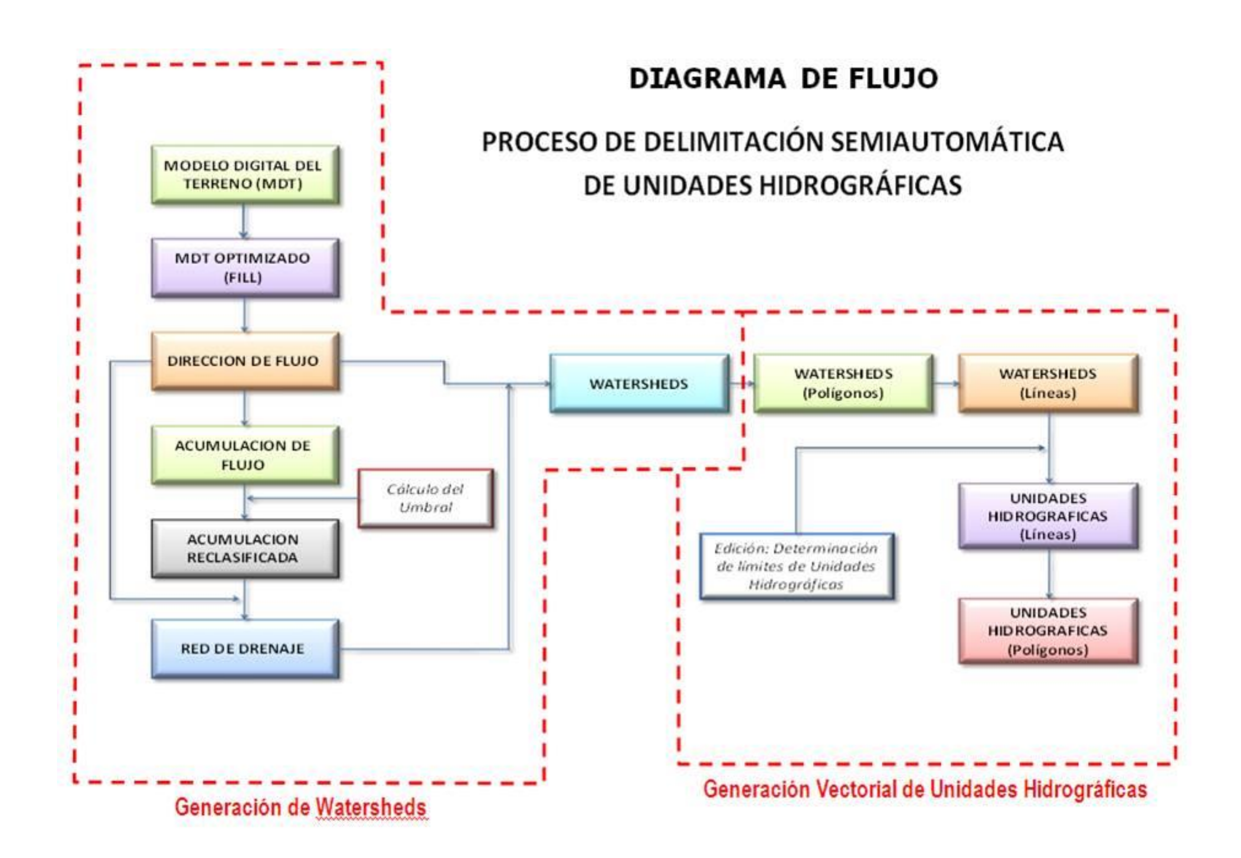


5. PROCESO DE DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN

Existen maneras de delimitar o delinear cuencas hidrográficas, cada una de ellas se utiliza de acuerdo del carácter ulterior o propósito que se desee alcanzar. Maneras de delimitar que van desde las realizadas manualmente, sobre un plano topográfico o directamente en pantalla, hasta las que se realizan digitalmente de forma semiautomática, con las herramientas SIG y con la información base geoespacial. Todas las formas de delimitar conducen al mismo objetivo, sin embargo, la diferencia radica en la precisión; y es allí donde el método que se utilice y la información base, determinarán la calidad del trabajo final.

El proceso de delimitación de unidades hidrográficas se ha efectuado mediante dos subprocesos:

- Generación de áreas de drenaje (cuencas de captación) o watersheds
- Generación vectorial de unidades hidrográficas



Codificación de Unidades Hidrográficas

La codificación de unidades hidrográficas sigue los fundamentos de la Metodología Pfafstetter. Una vez conformado el tema de polígonos, que representan las unidades hidrográficas, se realiza el proceso de codificación en su respectiva tabla de atributos. Esta tabla debe presentar una estructura pre-establecida, que puede ser única o de tipo relacional.

